

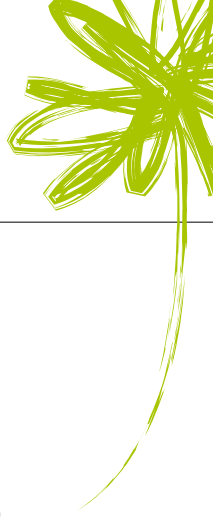


PEB Échanges, Programme pour la construction et  
l'équipement de l'éducation 2007/09

Les bâtiments scolaires  
en Grèce : le défi  
bioclimatique et un projet  
pilote photovoltaïque

**Panagiotis Al. Patargias,  
Kalianou Angela,  
George Galanis,  
Marina Vassilopoulou,  
Maria Drosou,  
Christos  
Protogeropoulos**

<https://dx.doi.org/10.1787/076514774634>



# Les bâtiments scolaires en Grèce : le défi bioclimatique et un projet pilote photovoltaïque

Par Panagiotis Al. Patargias, Université du Péloponnèse, OSK ; Kalianou Angela, Université d'Égée ; George Galanis, Marina Vasilopoulou et Maria Drosou, OSK ; et Christos Protogeropoulos, CRES, Grèce

*L'organisation chargée en Grèce des bâtiments scolaires, l'OSK, met au point des projets bioclimatiques pilotes qui donnent des résultats positifs. L'action bioclimatique est l'un des grands axes prioritaires de la planification des infrastructures scolaires en Grèce depuis 2004. Parmi les activités lancées par l'OSK pour promouvoir l'utilisation des sources d'énergie renouvelables dans les écoles, figure un projet pilote dont le but est de concevoir et d'installer un système photovoltaïque dans un établissement secondaire d'Athènes.*

## LE DÉFI BIOCLIMATIQUE

### Introduction

Dans un monde en perpétuelle évolution, et dans une société qui se transforme presque de jour en jour, l'éducation est de plus en plus appelée à jouer un rôle décisif. Les infrastructures scolaires d'un pays, qui comprennent les équipements d'enseignement, sportifs et culturels, doivent créer un environnement propice aux apprentissages et à la transmission du savoir, tout en respectant les facteurs culturels et les sensibilités sociales.

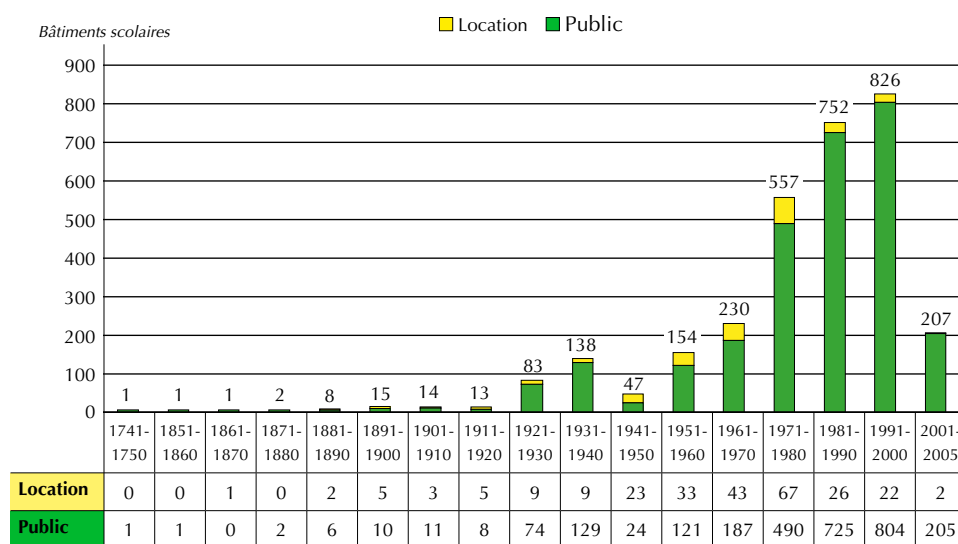
Les sociétés contemporaines devraient se fixer pour objectif de construire des bâtiments scolaires modernes, bioclimatiques et respectueux de l'environnement. Une conception moderne de l'école détermine la nature de l'infrastructure scolaire. La mise en œuvre de mesures bioclimatiques et l'utilisation de matériaux écologiques reflètent les tendances actuelles et devraient permettre d'atteindre les objectifs suivants :

- Économiser l'énergie.
- Améliorer le microclimat de l'école.
- Produire de l'énergie à partir de sources renouvelables, avec les avantages environnementaux et économiques qui en découlent.
- Améliorer la qualité de l'air en classe.
- Réduire au maximum l'utilisation de matériaux toxiques.

La nécessité d'économiser l'énergie, de protéger l'environnement et d'améliorer les conditions de vie des usagers des locaux scolaires a conduit à appliquer les principes de la planification bioclimatique

aux bâtiments scolaires. En Grèce, un grand nombre de ces constructions sont anciennes et doivent être converties à la conception bioclimatique. Le graphique 1 montre l'âge des bâtiments scolaires dans l'Attique.

Graphique 1 Âge des bâtiments scolaires dans l'Attique



Source : Patargias, P.A. (2005), « *Developing and Financing Education through PPPs* », document présenté lors de The Economist Conference sur le thème « *New Investment Opportunities in Greece through Public-Private Partnerships (PPP)* », Athènes.

2

Les programmes pilotes suivants sont actuellement mis au point ou ont déjà été mis en œuvre par l'OSK en coopération avec plusieurs universités et des chercheurs de renom :

1. Mise en place de systèmes photovoltaïques (Centre pour les sources d'énergies renouvelables).
2. Qualité de l'air dans les salles de classe (Département de chimie, Département de physique, Université d'Athènes).
3. Toits végétalisés (Université de l'agriculture d'Athènes).
4. Systèmes de chauffage solaire (Université d'Athènes).
5. Bâtiments intelligents et économies d'énergie lumineuse.
6. Isolation thermique extérieure des vieux bâtiments scolaires.
7. Performance énergétique des établissements scolaires (Département de physique, Université d'Athènes).
8. Systèmes d'ombrage.
9. Végétation dans les cours d'école.
10. Installation d'une unité mobile de mesure de la pollution (Département de physique, Université d'Athènes).

### Production d'électricité par des systèmes photovoltaïques

Les plans de l'OSK prévoient des systèmes photovoltaïques d'une puissance maximum de 20 kilowatts (kW) ; ces systèmes figurent dans les études d'exécution actuelles, lorsque leur installation est possible.

Les études préparatoires relatives à cette innovation ont été menées conjointement par l'OSK et le Centre grec pour les sources d'énergies renouvelables ; il en est résulté l'installation d'un système photovoltaïque dans un établissement d'enseignement secondaire, le 4<sup>e</sup> lycée d'Athènes (voir l'étude de cas plus loin), et un projet d'installation dans l'école technique et professionnelle de Kamatero, l'école de musique de Kalamata et la 3<sup>e</sup> école primaire d'Artemis. Les systèmes photovoltaïques sont destinés à :

- Réduire la production énergétique nationale à partir des combustibles fossiles.
- Produire une énergie meilleur marché.
- Contribuer à l'amélioration de l'environnement en réduisant les émissions de gaz.

On estime que la construction d'un système photovoltaïque est amortie en 10 ans ; le système a une durée de vie de 25 ans.

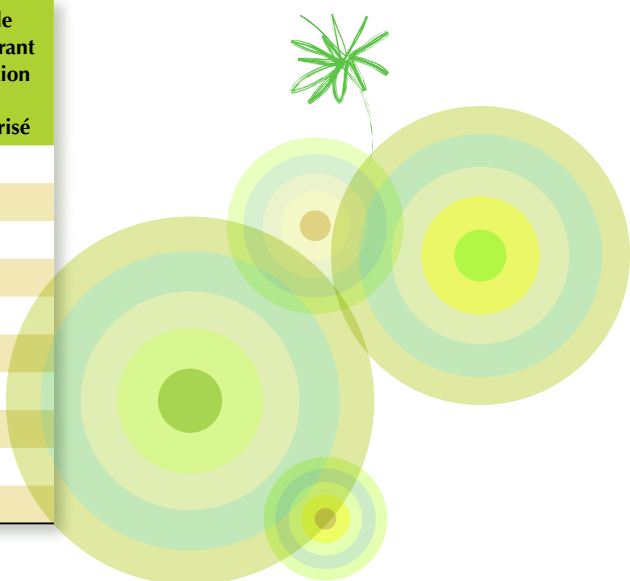
### Améliorer la qualité de l'air en classe

De fortes concentrations de dioxyde de carbone ont un effet négatif sur la santé et les performances des élèves et des enseignants. L'OSK a donc mis en place des détecteurs de CO<sub>2</sub> dans 570 salles de classe réparties dans l'Attique et projette d'en installer dans 500 salles de classe réparties dans la préfecture de Thessalonique. Lorsque le niveau de CO<sub>2</sub> dépasse le seuil autorisé de 1 001 parties par million, les détecteurs déclenchent la ventilation qui renouvelle l'air de la pièce. La concentration de particules de CO<sub>2</sub> et d'autres polluants (comme les monoxyde de carbone et les oxydes d'azote) est réduite simultanément.

Trois projets pilotes mis en œuvre conjointement par l'OSK et les Départements de physique et de chimie de l'Université d'Athènes ont permis l'installation de ce dispositif novateur qui a révélé dans les salles de classe un niveau de CO<sub>2</sub> supérieur de 87 % au niveau autorisé. Le Tableau 1 présente les mesures effectuées. Les détecteurs de CO<sub>2</sub> constituent d'ores et déjà un équipement standard lors de la construction des nouveaux bâtiments relevant de l'OSK.

Tableau 1 Concentrations de CO<sub>2</sub> dans dix écoles à Athènes

Numérotation des écoles	Concentration minimum de CO <sub>2</sub> (parties par million [ppm])	Concentration moyenne de CO <sub>2</sub> (ppm)	Concentration maximum de CO <sub>2</sub> (ppm)	% de salles de classes enregistrant une concentration supérieure au niveau autorisé
1	408	600	1 246	38
2	867	1 258	1 628	100
3	446	833	1 373	57
4	367	602	1 040	33
5	363	576	786	70
6	105	661	1 133	50
7	772	1 070	1 873	100
8	413	675	1 298	50
9	424	813	1 664	100
10	396	598	846	45



## Autres mesures innovantes

### *Les toits végétalisés*

Un programme pilote de végétalisation des toitures, actuellement soumis à un appel d'offres, doit être mis en œuvre par l'OSK, en collaboration avec l'Université d'Agronomie d'Athènes, à l'école primaire de Marasleio.

### *Les systèmes de chauffage solaire*

Lorsque le programme pilote conjoint de l'OSK et de l'Université d'Athènes sera achevé, il est prévu d'installer des systèmes de chauffage solaire dans les écoles en construction.

### *Les bâtiments intelligents et les économies d'énergie lumineuse*

La consommation énergétique des écoles correspond à 70 % au chauffage et à 30 % à l'éclairage. Les chercheurs s'intéressent actuellement à un système de mesure du rayonnement solaire et de détection de présence humaine, qui permet d'atténuer ou d'éteindre la lumière artificielle. Un tel système réduirait la consommation d'énergie lumineuse des écoles de 40 %.

## Autres mesures

L'OSK développe plusieurs projets pilotes. Le premier objectif est de procéder à l'isolation thermique des vieilles écoles non isolées, conformément à la directive 2002/91/EC<sup>1</sup> de l'Union européenne sur l'efficacité énergétique des bâtiments. Selon les estimations, cette directive permettra de réduire de 30 % la consommation énergétique imputable au chauffage. Enfin, l'utilisation de systèmes d'ombrage, de végétation haute et dense, et de couleurs extérieures réfléchissantes permettra de renforcer les économies d'énergie dans les écoles grecques.

## Conclusions

Étant donnée la menace que laissent planer le réchauffement de la planète et ses conséquences écologiques inévitables, il est désormais impératif de réduire les émissions de gaz dont la production d'énergie est la principale cause. Deux solutions s'offrent alors : économiser l'énergie et produire l'énergie à partir de sources renouvelables.

En ce qui concerne les bâtiments scolaires, qui forment à eux seuls le plus gros groupe de bâtiments dans les pays, les économies d'énergie dépendent de façon décisive des facteurs suivants :

- Une puissante isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment.
- Une excellente isolation thermique des canalisations servant au chauffage et à la climatisation.
- Des mesures passives d'économie tel que l'ombrage, une végétation haute, la ventilation, les couleurs extérieures réfléchissantes et les systèmes de régulation de l'éclairage dans les bâtiments intelligents.
- Un chauffage solaire.

Quant à la production d'énergies renouvelables pour les écoles grecques, l'utilisation de systèmes photovoltaïques est la seule option existante. Si des efforts comparables sont déployés dans tous les bâtiments publics, et ensuite dans des bâtiments privés, nous pouvons espérer un environnement et une planète plus propres.

---

1. La directive 2002/91/EC du Parlement européen sur l'efficacité énergétique des bâtiments est entrée en vigueur le 4 janvier 2006 et est progressivement intégrée à la législation nationale des États membres. L'Union européenne s'est fixé pour objectif de porter à 20 % la consommation d'énergies renouvelables d'ici 2010.

### Références

- Beisteiner, A. et Coley, D.A. (2003), « Carbon Dioxide Levels and Summertime Ventilation Rates in UK Schools », *International Journal of Ventilation*, vol. 1, n° 3, pp. 181-187.
- CRES (Centre pour les sources d'énergies renouvelables) (2006), « Study of P/S System in the 4th High School in Athens », 2006.
- Lee S.C. et Chang M. (1999), « Indoor Air Quality – Investigations at Five Classrooms », *Indoor Air*, vol. 9, pp. 134-138.
- OSK (2004), « Concentration of Pollutants in the School Orders », programme pilote OSK/Département de physique de l'Université d'Athènes, Athènes.
- Patargias, P.A. (2005), « Developing and Financing Education through PPPs », document présenté lors de The Economist Conference sur le thème « New Investment Opportunities in Greece through Public-Private Partnerships (PPP) », Athènes.
- Santamouris, M., et al. (1994), « Energy Consumption and the Potential for Energy Conservation in School Buildings in Hellas », *Energy*, vol. 19, n° 6, pp. 653-660.
- Synnefa, A. (2002), « Étude de la qualité de l'air intérieur dans six bâtiments scolaires », Mémoire de DEA, École Nationale des Travaux Publics de l'État, Laboratoire Sciences de l'Habitat.
- Synnefa, A., et al. (2003), « An Experimental Investigation of the Indoor Air Quality in Fifteen School Buildings in Athens, Greece », *International Journal of Ventilation*, vol. 2, n° 3, pp. 185-202.

Pour en savoir plus, contacter les auteurs :

*Panagiotis Al. Patargias*

*Maître de conférence, Université du Péloponnèse*

*Administrateur délégué, OSK*

*Athènes, Grèce*

*admin@osk.gr*

*Kalianou Angela*

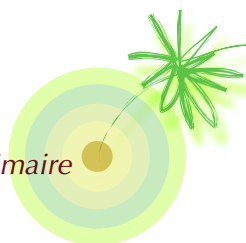
*Doctorant, Université d'Égée*

*École des sciences humaines*

*Département de l'enseignement primaire*

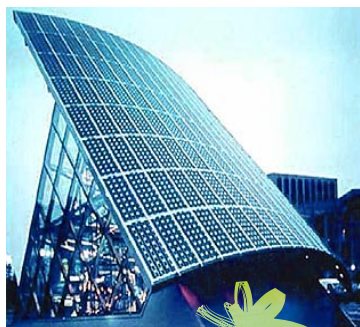
*Athènes, Grèce*

*gely@greekeducation.org*



## INSTALLATION D'UN SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE DANS UN BÂTIMENT SCOLAIRE D'ATHÈNES

### Introduction



L'OSK a choisi le 4<sup>e</sup> lycée d'Athènes comme projet pilote pour installer un système photovoltaïque. Cet établissement, construit en 1982, a été sélectionné pour les raisons suivantes :

- Lors de leur participation aux programmes d'éducation à l'environnement, les enseignants et les élèves s'étaient montrés particulièrement intéressés par le système photovoltaïque. De plus, les enseignants avaient exprimé leur volonté de décrire et d'expliquer aux élèves les particularités du système, donnant ainsi au projet un caractère pédagogique.

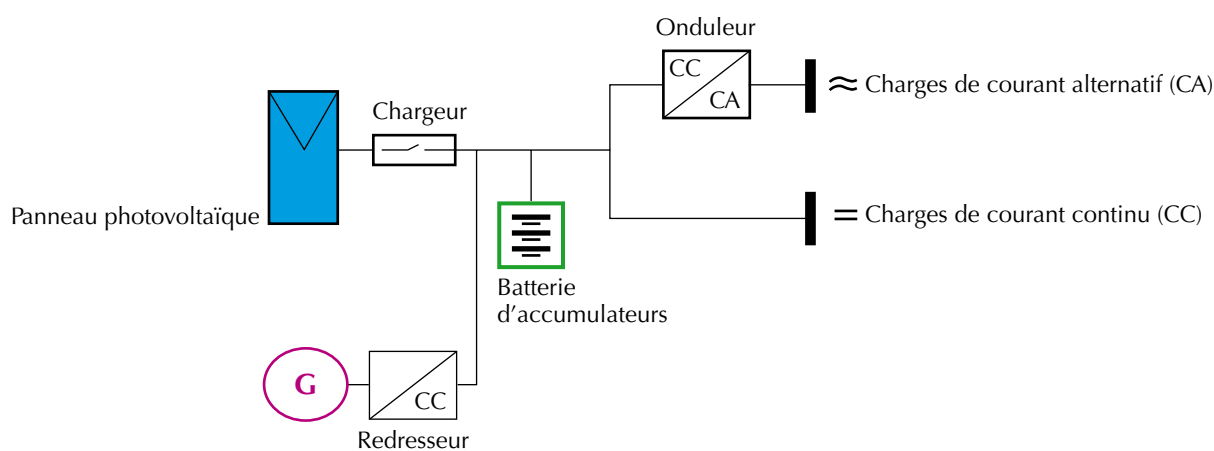
- Étant donné que l'établissement est déjà en service, toutes les données concernant sa consommation d'électricité au cours des années précédentes sont disponibles, et il est donc facile d'évaluer les avantages énergétique et financier du système photovoltaïque.
- Le bâtiment étant situé dans un quartier surpeuplé du centre, il était possible d'étudier un système face aux difficultés que soulèvent l'aménagement urbain et l'état de l'environnement.

Pour ce projet pilote, l'OSK a décidé d'équiper l'école d'un système photovoltaïque qui alimentera en électricité le réseau de distribution de la ville auquel il sera raccordé. L'OSK a procédé aux études préalables voulues en collaboration avec le Centre pour les sources d'énergies renouvelables (CRES) qui possède une grande expérience dans l'approvisionnement et la consommation énergétiques et dans leur impact sur l'environnement.

### La technologie photovoltaïque

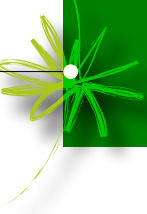
Les systèmes photovoltaïques transforment directement l'énergie solaire en électricité. Un système photovoltaïque classique comprend : (1) un panneau photovoltaïque ou un générateur solaire, (2) un onduleur ou un chargeur qui gère l'électricité produite, et (3) un mécanisme de stockage de l'énergie, composé d'une batterie d'accumulateurs, si le système d'approvisionnement énergétique est en site isolé (voir le graphique 2).

Graphique 2 Système hybride en site isolé



La technologie photovoltaïque présente les avantages suivants :

- Un impact négligeable sur l'environnement.
- Une production et une consommation d'énergie électrique pour lesquelles il n'est pas nécessaire de recourir au réseau de transport ou de distribution d'électricité.
- Une technologie qui permet d'augmenter la puissance installée pour pouvoir répondre à la demande.
- Une fiabilité accrue du système énergétique.
- Un minimum d'entretien et de surveillance du système (il est recommandé de procéder à une inspection deux fois par an).

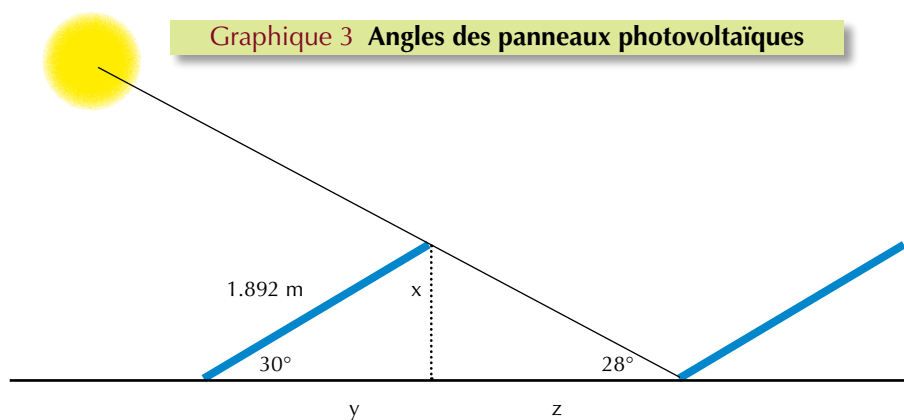


## Emplacement des panneaux photovoltaïques

L'établissement sélectionné pour le projet est entouré de grands immeubles dans un quartier aux rues étroites. De ce fait, pour que les immeubles adjacents ne fassent de l'ombre aux panneaux photovoltaïques, ces derniers seront installés sur le toit qui offre une surface horizontale.

Les panneaux photovoltaïques seront généralement inclinés en fonction de la latitude du site, en l'occurrence 38 degrés pour Athènes. En ce qui concerne cet établissement, les panneaux auront un angle de 30 degrés (voir le graphique 3) afin de maximiser la production totale annuelle d'électricité.

Étant donné que les panneaux seront placés les uns à côté des autres, on a calculé la distance minimale à respecter entre eux pour éviter toute ombre, en particulier pendant l'hiver lorsque le soleil est au plus bas.



**7**

Pour déterminer l'emplacement des panneaux, on a procédé à une simulation à partir des données concernant le toit de l'établissement et les immeubles adjacents, et en sachant que les élèves doivent pouvoir visiter les installations (voir le graphique 4 et les photographies ci-dessous).

Pour évaluer le système et mesurer l'énergie électrique qui alimentera le réseau de distribution, un ordinateur recueillera et enregistrera des mesures chaque jour. Il enregistrera en particulier :

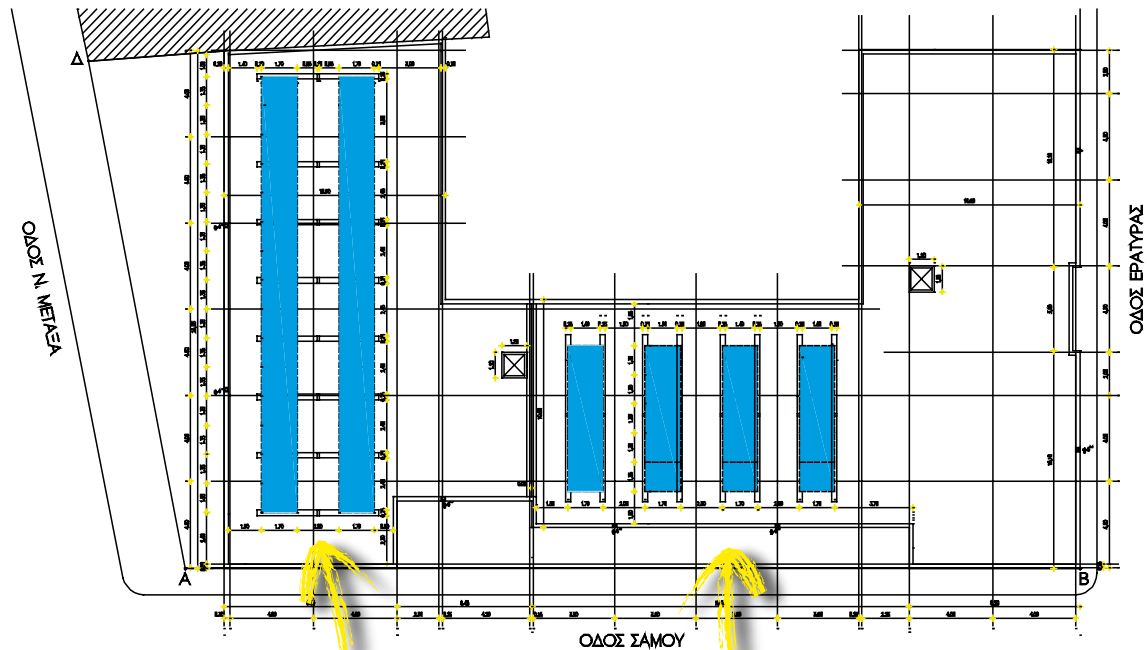
- Le rayonnement solaire global à la surface des panneaux photovoltaïques.
- La température ambiante.
- La température due au fonctionnement des panneaux photovoltaïques.
- Les courants alternatif et continu.
- La tension alternative et continue.

Le système photovoltaïque, comme on l'a précisé plus haut, aura aussi une finalité pédagogique. Dans ce but, un panneau spécial, équipé d'un indicateur électronique, sera installé au centre de l'établissement et affichera les informations de base suivantes sur le fonctionnement du système :

- Le rayonnement solaire global en temps réel.
- La puissance à la sortie du système photovoltaïque.
- La quantité totale d'électricité produite par le système photovoltaïque depuis sa mise en service.
- Les économies d'énergie réalisées grâce au système photovoltaïque.
- La réduction des émissions grâce au système photovoltaïque.



Graphique 4 Plan du toit montrant les panneaux photovoltaïques



### Résultats et avantages

Une simulation du fonctionnement du système pendant un an a démontré que la période la plus efficace d'un point de vue énergétique va de mai à septembre.

L'ensemble du système photovoltaïque du bâtiment aura une puissance de sortie nominale équivalente à 15.75 kWc (kilowatt-crête). Il se composera de 50 panneaux photovoltaïques de 315 Wc (watt-crête) chacun et de cinq onduleurs de 3.0 kVA (kilovoltampère) chacun. L'énergie électrique générée par le système photovoltaïque et redistribuée sur le réseau chaque année devrait atteindre 22 447 kWh, compte tenu de la capacité totale du système.

Pour calculer les économies en énergies de type classique et les avantages qui en découlent pour l'environnement, on considère que l'électricité photovoltaïque produite remplacera les énergies de type classique que la Compagnie publique grecque d'électricité utilise dans ses centrales pour produire la même quantité d'énergie. Par année, on obtient les valeurs suivantes :

- Économie d'énergie : 6.083 kg.
- Réduction des émissions : 19.711 kg.

L'énergie électrique générée sera en totalité redistribuée sur le réseau, ce qui devrait rapporter 10 000 EUR par an à l'établissement, aux prix actuels de l'électricité. Environ un tiers de cette somme (3 000 EUR par an) servira à financer l'électricité dont l'école a besoin pour fonctionner. Le projet s'achèvera normalement en septembre 2007. Son coût total avoisinera 138 000 EUR et son amortissement s'étalera sur une dizaine d'années.

La mise en œuvre de ce projet pilote a été décidée non pas seulement en fonction des avantages financiers escomptés mais aussi en raison des avantages écologiques qui allaient en découler grâce aux économies d'énergie et à la réduction des émissions de gaz dans un environnement saturé. Cela étant, la principale finalité de ce projet est d'expliquer aux élèves l'utilisation des sources d'énergie renouvelables, leur fonctionnement, leur efficacité et l'effet produit sur l'environnement.

*Article rédigé par :*

*George Galanis, Ingénieur civil*

*Marina Vassilopoulou, Architecte*

*Maria Drosou, Ingénieur mécanicien*

*OSK*

*Athènes, Grèce*

*Christos Protogeropoulos, Ingénieur mécanicien*

*CRES*

*Athènes, Grèce*

*Pour en savoir plus, contacter :*

*Marina Vassilopoulou*

*OSK*

*28, Favierou str.*

*10438 Athènes, Grèce*

*Tél. : 30 2105272540*

*ereyna@osk.gr*



## ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

L'OCDE est un forum unique en son genre où les gouvernements de 30 démocraties œuvrent ensemble pour relever les défis économiques, sociaux et environnementaux que pose la mondialisation. L'OCDE est aussi à l'avant-garde des efforts entrepris pour comprendre les évolutions du monde actuel et les préoccupations qu'elles font naître. Elle aide les gouvernements à faire face à des situations nouvelles en examinant des thèmes tels que le gouvernement d'entreprise, l'économie de l'information et les défis posés par le vieillissement de la population. L'Organisation offre aux gouvernements un cadre leur permettant de comparer leurs expériences en matière de politiques, de chercher des réponses à des problèmes communs, d'identifier les bonnes pratiques et de travailler à la coordination des politiques nationales et internationales.

Les pays membres de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, la Corée, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, la Nouvelle-Zélande, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. La Commission des Communautés européennes participe aux travaux de l'OCDE.

Les Éditions OCDE assurent une large diffusion aux travaux de l'Organisation. Ces derniers comprennent les résultats de l'activité de collecte de statistiques, les travaux de recherche menés sur des questions économiques, sociales et environnementales, ainsi que les conventions, les principes directeurs et les modèles développés par les pays membres.

*Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les interprétations exprimées ne reflètent pas nécessairement les vues de l'OCDE ou des gouvernements de ses pays membres.*